

一九七九年全國新型建築材料及試驗性建築技術經驗交流會

資料選編

第一分冊 輕質牆體材料與輕型構件

中國硅酸鹽學會建築材料專業委員會
建築材料工業部技術情報標準研究所

一九八一年三月

前 言

一九七九年十二月国家科学技术委员会、中国硅酸盐学会在苏州召开了新型建筑材料和试验性建筑技术经验交流会。这次会议既是一九七五年以来新型建筑材料的科技经验交流会，又是探讨如何加快发展新型建筑材料的工作会议。参加这次会议的有来自全国各地二百二十多个单位，正式代表三百三十一名，列席代表七十一名。既有主管这项工作的各级领导干部，又有从事这方面工作的许多专家、教授、工程师和科学技术人员。会上，大家带来的技术资料和工作经验介绍资料有二百多份，代表们分地区、分专业进行了交流和座谈讨论。

本《资料选编》就是这次会议的论文选编，分三个分册印刷出版：

第一分册 轻质墙体材料与轻型构件：内容包括加气混凝土，石膏板，纤维水泥板，矿棉及矿棉制品，轻骨料和轻骨料混凝土、硅酸盐制品，混凝土与混凝土构件等；

第二分册 防水与装修材料：内容包括防水材料，装修材料等；

第三分册 框架轻板建筑：内容包括建筑结构和试验性建筑及其经济分析等。

《资料选编》的编委会由黄仕成、李桂青、毕道义、陶自强、李仲生、庄安逵、沈六如、李谷云、冒镇恶、陈艾青、曾葆盛、董瑞新等组成。石景星、郭秀云负责出版工作。

本《资料选编》在编辑和印刷过程中，得到了南京玻璃纤维研究设计院、武汉建筑材料工业学院、苏州水泥制品研究所、济南水泥制品研究所、河南建筑工程材料科学研究所、东北建筑设计院、北京市建筑材料科学研究所、上海市建筑科学研究所、建材部技术情报标准研究所等编委单位和印刷出版单位的大力支持与热情帮助，在此谨向他们表示衷心感谢。本《资料选编》中如有不当和错误之处，请读者批评指正。

中国硅酸盐学会建筑材料专业委员会

一九八一年三月

目 录

I. 加气混凝土

1. 粉煤灰性质对蒸压粉煤灰制品性能及水化产物的影响
.....河南建筑工程材料科学研究所 (1)
2. 蒸压粉煤灰加气混凝土若干问题的研究.....武汉建筑材料工业学院 (14)
3. 石灰在加气混凝土中应用的研究.....北京加气混凝土厂
.....北京市建筑材料科学研究所 (21)
4. 粉煤灰加气混凝土生产工艺研究.....陕西省建筑科学研究所
.....西安市硅酸盐制品厂 (28)
5. 提高水泥—石灰—砂加气混凝土浇注稳定性的试验研究
.....四川省建材工业科学研究所
.....崇庆县加气混凝土制品厂 (37)
6. 沥青硅酸盐钢筋防腐剂.....北京市建筑材料科学研究所
.....陕西省建筑科学研究所 (41)
.....齐齐哈尔铁路工程段加气混凝土厂
.....西安市硅酸盐制品厂
7. 有机水乳型钢筋防腐剂.....上海市建筑科学研究所 (48)
8. 三萜皂甙植物在加气混凝土生产中的应用.....北京加气混凝土厂 (54)
9. 加气混凝土建筑中的两种收缩应力裂缝.....河南建筑工程材料科学研究所 (59)
10. 蒸养粉煤灰加气混凝土砌块制品裂缝问题的初步探讨
.....河南建筑工程材料科学研究所 (65)
11. 加气混凝土砌块隔墙裂缝原因初步探讨.....河南建筑工程材料科学研究所 (73)
12. 加气混凝土断裂韧度 K_{Ic} 测定.....河南建筑工程材料科学研究所 (79)
13. 水泥—矿渣—砂加气混凝土粘结剂砌体力学性能的试验研究
.....哈尔滨市建筑设计院
.....哈尔滨建筑工程学院 (85)
.....哈尔滨市建筑工业加工厂
14. 水泥—矿渣—砂加气混凝土热工性能试验研究
.....黑龙江省低温建筑科学研究所 (93)
15. 粉煤灰加气混凝土的隔热性能.....湖北省建工局科学研究所 (100)
16. 加气混凝土外墙饰面试验研究.....黑龙江省建筑设计院 (103)
17. 加气混凝土条板现场拼装外墙板施工.....北京市第二住宅建筑公司 (108)
18. 加气混凝土条板内隔墙施工.....北京市第二住宅建筑公司 (112)
19. 加气混凝土工厂拼装大板的生产与应用.....北京加气混凝土厂
.....北京市建材局设计所 (115)
.....北京市第二住宅建筑公司
.....北京市建筑设计院

II. 石 膏 板

1. 纤维石膏板的研制.....河南建工材料科研所
.....洛阳市西工建筑公司 (122)

2. 纸面石膏板试生产总结.....北京市石膏板厂 (144)
3. 石膏珍珠岩空心隔墙板的研制.....北京市豆店砖厂
北京市建材研究所 (158)
4. 石膏凝固体烘烤试验研究.....国家建工总局第一工程局建筑科学研究所 (163)
5. 石膏蜂窝板试生产线.....国家建工总局第一工程局建筑科学研究所 (171)
6. 蒸养石膏粉煤灰硅酸盐空心条板试验研究报告.....四川省建材工业科学研究所
成都市建材工业科学研究所 (180)
7. 纤维石膏板研制报告.....天津石膏板厂
天津建材研究所 (187)
8. 利用工业废料氟石膏制作新型轻质建筑材料的研究与实践
.....湖南省建材研究设计院石膏板研究组 (196)
9. 磷石膏多孔条板中间试验阶段报告.....苏州市建筑科学研究所
苏州墙板厂 (202)
10. 玻纤束石膏板的研究.....武汉市建筑材料研究所 (208)
11. 石膏蜂窝板的隔声性能及其改进.....中国建筑科学研究院物理所
张锡英 吴大胜 刘英杰 郑永生 (211)
12. 无纸石膏板防潮与饰面试验小结.....北京市建筑设计院
北京市建筑工程研究所 (215)
13. 纸面石膏板应用技术研究.....北京市建筑设计院 (223)
14. 复合石膏隔墙板粘结剂的研究.....水泥研究所物理化学室 (233)
15. 石膏板用粘结剂——酶法橡子胶的研究和试生产小结.....北京石膏板厂
北京玻璃钢研究所 (245)
16. 碳化石灰制品的碳酸化问题.....北京市建筑材料科学研究所第四研究室 (258)
17. 碳化石灰隔墙板挤出工艺中间试验.....北京市灰石厂
北京市建筑材料科学研究所 (267)

III. 纤维水泥板

1. 湿法真空辊压石棉水泥平板的试制.....天津石棉制品厂 (278)
2. 干法辊压石棉水泥平板的试制.....建材部武汉水泥制品设计院
沈阳石棉水泥制品厂 (284)
3. 用喷浆铺网法生产玻纤水泥夹层外墙板的研究
.....建材部建材研究院
解松善 陆惠棠 张书林 于崇明 (293)
4. 耐碱被覆玻纤网及其增强短石棉水泥瓦、板的研究
.....建材部济南水泥制品研究所 (299)
5. 玻纤水泥耐久性的试验研究.....建材部建材研究院 陆惠棠 宋颖 高淑顺 (308)
6. 低碱度水泥对玻纤侵蚀机理的研究
.....建材部建材研究院水泥所 薛君珩 张丕兴 许温霞 卢保山 (315)
7. 玻璃纤维增强水泥制品在框架轻板建筑中的应用.....石家庄市建材研究所 (324)
8. 玻纤增强水泥制品的试验与应用.....北京第六建筑工程公司
建材部建材研究院 (328)
北京建筑设计院八室
9. 新型增强材料——被覆玻纤网格布.....上海耀华玻璃厂 (332)
10. 厦门市玻纤配筋混凝土使用情况调查报告.....建材部济南水泥制品研究所 (336)

11. 玻纤混凝土的试验总结..... 厦门市建筑设计院 (344)

IV. 矿棉及矿棉制品

1. 太原矿棉厂采用的原料对生产的影响..... 南京玻璃纤维研究设计院 (350)
邓培之 周承平

2. 多孔吸声板材的面层处理..... 中国建筑科学研究院物理所 胡俊民 蔡应曦 (356)

3. 矿棉制品在建筑中的地位及其经济效果..... 南京玻璃纤维研究设计院 毕道义 (365)

4. 适用于地下工程的防潮矿棉吸声装饰板研究报告
..... 北京建筑材料科学研究所
中国建筑科学研究院物理所 (375)
中国科学院微生物科学研究所
北京水泥砖瓦厂
基建工程兵北京指挥部科研设计院

5. 绿页岩棉及其制品研制技术总结..... 抚顺市建材局科研室 (384)
抚顺市制瓦厂
新宾县永陵公社造纸厂

6. 潮湿对矿棉板吸声性能的影响
..... 中国建筑科学研究院物理所 胡俊民 蔡应曦 刘津苔 (397)

7. 耐碱矿棉的原料配合和耐碱性能的研究..... 南京玻璃纤维研究设计院 韩芷英 (403)

8. 耐碱矿物玻璃的熔制和成型工艺原理的研究..... 南京玻璃纤维设计院 刘咸达 (412)

V. 轻骨料和轻骨料混凝土、硅酸盐制品

1. 膨胀沸石岩轻骨料的特性..... 清华大学建工系 冯乃谦 廉慧珍 郭玉顺 王瑞 (420)

2. 有机质和氧化铁之间的氧化—还原反应对粘土加热膨胀的影响
..... 北京市建筑材料科学研究所 王根元 (431)

3. 泥浆喷雾制粒及立波尔窑烧制粉煤灰陶粒新工艺的研究
..... 上海市建筑科学研究所 候承英 (441)

4. 阜新自燃煤矸石轻骨料及混凝土的研究..... 辽宁省建筑科学研究所 (447)
阜新市第一建筑工程公司

5. 火山天然轻骨料性能的试验研究
..... 中国建筑科学研究院结构研究所 龚洛书 惠满印 (454)

6. 浮石轻骨料混凝土的试验与应用..... 大庆油田科学研究设计院 (460)

7. 墙体用的膨胀珍珠岩混凝土
..... 中国建筑科学研究院结构研究所 龚洛书 苏曼青 施杏生 (466)

8. 墙体和预应力构件用粉煤灰陶粒混凝土..... 天津大学建筑材料教研室 (470)

9. 预应力页岩陶粒混凝土空心板的研制和试用
..... 四川省建筑材料工业科学研究所 (477)

10. 轻骨料混凝土热物理性能试验研究报告
..... 中国建筑科学研究院建筑物理研究所 (482)
白玉珍 沈楹元 陈玉梅 谈庆华

11. 粉煤灰在蒸养条件下活性的研究..... 上海市建筑科学研究所 (490)
伍劲夫 乐美龙 谷章昭
陕西省建筑科学研究所
吴学礼 杨乃萍

12. 粉煤灰各组分的矿物学特征及火山灰活性的研究
 上海市建筑科学研究所 陕西省建筑科学研究所 (498)
 谷章昭 梁天仁 王维君 伍劲夫 乐美龙 吴学礼 杨乃萍
13. 工业废渣—石灰—石膏硅酸盐制品的水化产物
 河南建筑工程材料科学研究所 何尔章 (510)
14. 粉煤灰硅酸盐制品收缩性能的研究
 上海市建筑科学研究所 郑华 谷章昭 (513)

VI. 混凝土与混凝土构件

1. 混凝土力学行为研究中的一些基本问题..... 同济大学 黄蕴元 (518)
2. 关于混凝土干热养护机理的讨论
 同济大学混凝土材料及制品教研室 庞强特 (523)
3. 钢丝网水泥肋形楼板的设计与试验..... 建材部苏州水泥制品研究所 (529)
4. 真空处理混凝土在整间肋形楼板生产上的应用
 苏州市建筑混凝土预制构件厂 (540)
5. 钢丝网水泥带肋楼板的长期荷载试验总结..... 建材部苏州水泥制品研究所 (548)
6. 几种轻质大楼板的隔绝撞击声性能
 中国建筑科学研究院物理所 郑永生 吴大胜 张锡英 刘英杰 (555)
7. 混凝土空心柱立式高频内振成型工艺的研究..... 建材部济南水泥制品研究所 (558)
8. 混凝土真空处理原理的研究..... 建材部苏州水泥制品研究所 (567)
9. 细石混凝土真空处理制度的研究..... 建材部苏州水泥制品研究所 (574)
10. 真空处理细石混凝土的配合比..... 建材部苏州水泥制品研究所 (582)
11. 真空处理对水泥砂浆结构形成的影响..... 建材部苏州水泥制品研究所 (589)
12. 真空水泥砂浆及细石混凝土的物理力学性能..... 建材部苏州水泥制品研究所 (593)
13. 国内外真空混凝土的发展与应用..... 建材部苏州水泥制品研究所 (599)
14. 浅析混凝土预制构件厂的质量管理..... 同济大学 陆廷超 (608)

粉煤灰性质对蒸压粉煤灰制品 性能及水化产物的影响

河南建筑工程材料科学研究所

一、引 言

利用粉煤灰制造加气混凝土和硅酸盐混凝土日益广泛，业已成为我国一类重要建筑材料。然而在生产和应用中发现，不同地区粉煤灰常常表现出其制品的强度不同，收缩不同，耐久性不同。在生产工艺参数上（如水灰比、配合比）也有差异，这给合理的利用粉煤灰带来困难，这里存在着一个粉煤灰性质对制品性能的影响问题。这个问题过去缺乏系统地研究比较，多数研究工作立足于当地粉煤灰原料，这样就难以寻找其规律性。我们选取了全国25种粉煤灰进行分析比较和研究，并对25种粉煤灰进行了净浆强度试验，其中7种粉煤灰还进

粉煤灰的物理性质

表 1

产地	性质 比重 γ	容重 γ_v	密实度 $P = \frac{\gamma_v}{\gamma}$	标准稠度需水量(%)	4900孔/厘米 ² 筛余(%)	20000孔/厘米 ² 筛余(%)	透气比表面 (厘米 ² /克)	计算法比表面 (厘米 ² /克)
上海(吴泾)	1.870	0.730	0.380	57.5	22.10	53.64	3006	1130
哈尔滨	2.050	0.630	0.307	70.3	21.30	58.50	3864	780
天津	2.050	0.783	0.382	56.0	16.30	61.70	3347	770
唐山	1.850	0.665	0.360	58.0	22.10	73.86	2099	692
南宁	1.980	0.605	0.306	74.1	8.06	49.50	3380	920
武汉	2.020	0.689	0.341	57.3	9.10	48.20	3417	788
成都	2.280	0.779	0.342	49.0	17.10	62.30	3670	596
宝鸡(1号)	2.470	1.258	0.509	24.3	7.45	36.50	1429	1000
宝鸡(2号)	2.470	1.210	0.490	25.1	9.60	37.20		
西安	2.115	0.695	0.329	58.5	12.60	73.7	1980	586
太原	2.350	0.718	0.306	54.0	11.50	68.30	3940	788
富拉尔基	1.940	0.699	0.360	52.0	35.40	68.70	1980	648
郑州(363厂)	2.110	0.877	0.416	35.0	7.85	35.70	2443	970
郑州(热电厂)	2.190	0.928	0.424	40.0	56.20	85.78	1000	290
北京(西高井)	1.895	0.680	0.359	54.5	12.70	50.40	2419	792
兰州(干灰)	2.190	0.726	0.332	52.5	5.90	54.60	5109	1308.9
兰州(湿灰)	2.070	0.705	0.341	56.0	18.2	63.86	4204	1084.2
安阳(3号)	1.990	0.476	0.239	86.5	21.4	56.21	5159	1300.9
安阳(7号)	1.805	0.672	0.372	71.0	37.8	70.47	1827	1045
安阳(混合)	1.880	0.542	0.288	87.5	40.1	70.00	3040	1184.9
上海(杨浦干灰)	1.945	0.695	0.357	53.5	33.1	56.04	2752	1745.1
上海(杨浦湿灰)	1.965	0.747	0.380	59.0	65.4	86.15	1411	920.4
邵武	2.385	0.737	0.305	30.5	0	微量	7477	1601.07
吉林(粗灰)	1.810	0.846	0.467	43.5	27.75	65.74	1931	1316.23
吉林(细灰)	2.040	0.861	0.422	30.0	3.8	23.65	3198	1692.76

行了加气混凝土强度、收缩等主要性能试验，同时用化学分析、X—光衍射和扫描电镜检验了制品中水化产物的种类，并大约估计各水化产物的相对含量，企图找出粉煤灰性质、水化产物、制品性能之间的相互关系。

二、粉煤灰的物理性质、化学成分和矿物组成

对25种粉煤灰进行比重、容重、细度、粒径分布、标准稠度需水量等物理性能测定。结果见表1。分析了化学成分，结果见表2。用岩相分析及X—射线分析了它们所含的结晶矿物，并计算出粉煤灰中玻璃体含量，和玻璃体的主要成分(见表3和表4)，用扫描电镜观看了它们的颗粒外观形貌(见图1)。

由以上测定可以看出，粉煤灰是一种以硅铝玻璃体为主的工业废渣，除少部分石英、莫来石、赤铁矿等晶体外，大部分为玻璃体。由于粉煤灰在炉内高温煅烧(1400~1600℃)，大部分熔融成玻璃球状。随着锅炉燃烧温度、粉煤灰的成分、熔点、冷却速度，收尘方式的不同，各地区煤灰中玻璃球数量、大小均有差异。这部分玻璃体是活性的主要来源。它的含量、成分和颗粒大小、外观对制品的性能均产生重要影响。

粉煤灰的化学成分

表 2

成 分	烧 失 量	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O
产 地	%	%	%	%	%	%	%	%	%
上海(吴泾)	14.85	48.54	26.80	5.18	0.77	3.03	0.84	1.05	
哈尔滨	13.27	55.16	11.65	4.27	0.50	2.58	0.81	2.60	
天津	3.35	53.59	30.05	5.46	1.90	2.15		1.14	0.25
唐山	0.81	56.27	30.56	6.10	1.00	2.63			
南宁	5.85	45.00	35.00	6.00	2.06	2.75	0.83	0.63	0.19
武汉	2.96	62.18	22.38	8.03	1.13	2.19			
成都	5.64	57.76	20.61	7.35	1.09	3.91	0.97	2.65	0.26
宝鸡(1号)	1.17	48.69	31.06	11.14	3.27	1.43			
宝鸡(2号)	1.65	49.15	25.79	11.92	4.34	0.61			
西安	8.53	43.82	32.42	9.40	2.47	2.25			
太原	12.38	59.47	24.48	19.69	2.36	1.36	0.96	0.57	
富拉尔基	6.90	60.09	19.14	6.52	0.67	2.75			
郑州(363厂)	2.87	57.92	21.70	8.45	3.49	1.88	1.07	1.16	
郑州(热电厂)	8.12	50.81	18.89	14.49	5.46	1.66		1.48	0.41
北京(西高井)	2.42	51.69	34.41	6.08	1.13	1.81			
兰州(干灰)	2.82	51.94	29.21	8.76	4.33	1.75		0.82	0.38
兰州(湿灰)	7.10	49.77	29.11	8.07	2.94	1.64		0.94	0.36
安阳(3号)	34.92	31.61	21.04	4.37	3.99	1.54			
安阳(7号)	8.46	47.10	28.34	5.03	3.99	2.43			
安阳(混合)	26.46	35.90	23.96	3.06	3.99	1.99			
上海(杨浦干灰)	4.62	47.58	34.73	5.03	1.54	2.32			
上海(杨浦湿灰)	3.86	48.42	34.46	5.25	1.54	1.99			
邵武	4.92	52.64	30.10	4.37	2.46	1.10			
吉林(粗灰)	0.75	56.31	21.36	7.01	2.08	1.63			
吉林(细灰)	0.75	55.89	22.14	6.42	1.22	2.16			

粉煤灰X射线矿物定量分析

表 3

物 相	石英	莫来石		烧失量	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	CaCO_3	玻璃体	玻璃体中	玻璃体中	玻璃体中
产 地	%	%		%	%	%	%	$\text{SiO}_2\%$	Al_2O_3	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
上海(吴泾)	12	24.4	0.99	14.85	—	—	49.15	30.28	8.80	3.45
哈尔滨	18	14.10	0.94	13.27	—	—	53.69	33.52	9.15	3.66
天津	6.75	36.40	1.21	5.35	—	—	53.79	37.44	3.09	12.30
唐山	6.25	22.80	0.97	0.81	微量	—	70.14	44.00	11.56	3.80
南宁	3.00	32.60	1.29	5.85	—	—	57.26	33.60	10.60	3.16
武汉	21.60	25.00	0.88	2.96	—	—	50.16	33.77	3.88	8.80
成都	14.70	10.60	1.44	5.64	—	—	67.62	40.23	12.50	3.30
宝鸡	3.10	10.30	2.64	1.17	—	—	82.26	46.13	23.26	1.95
西安	4.29	14.36	1.82	8.53	—	—	59.05	33.14	13.62	2.44
太原	11.00	19.40	4.46	12.38	微量	微量	64.14	23.59	10.00	2.35
富拉尔基	15.30	5.85	5.78	6.90	—	—	66.17	40.35	14.80	2.74
郑州(热电厂)	7.00	6.68	2.99	8.12	—	微量	72.11	41.08	13.84	3.01
郑州(363厂)	13.80	8.00	5.09	2.87	—	—	72.14	41.90	16.75	2.50
北京(西高井)	3.00	35.00	1.29	2.42	—	—	58.29	33.64	8.41	4.70
兰州(干灰)	10.45	29.1	2.29	2.82	—	—	55.34	34.21	7.38	4.64
兰州(湿灰)	10.04	30.14	1.70	7.12	—	—	51.02	32.19	6.50	4.95
安阳(3号)	5.10	18.93	1.24	34.92	—	—	39.76	21.78	6.84	3.18
安阳(7号)	6.23	20.82	1.24	8.46	—	—	63.24	35.66	12.72	2.80
安阳(混合)	3.50	16.05	1.18	26.46	—	—	52.21	28.24	11.47	2.46
上海(杨浦干灰)	6.52	35.15	1.46	4.62	—	—	52.25	32.27	8.37	3.86
上海(杨浦湿灰)	6.17	29.45	1.44	3.86	—	—	59.08	34.89	12.37	2.82
邵武	10.17	29.82	0.72	4.92	—	—	54.37	35.01	7.73	4.53
吉林(粗灰)	9.27	10.04	1.05	0.75	—	—	78.44	44.08	13.83	3.19
吉林(细灰)	11.68	13.96	1.31	0.75	—	—	72.30	40.72	16.67	3.49

三、粉煤灰制品的水化产物

我们用以上25种粉煤灰配制了蒸压净浆试件,并选用7个电厂的粉煤灰(北京西高井、上海吴泾、上海杨浦、兰州、吉林、邵武、宝鸡)配制了蒸压粉煤灰加气混凝土,容重500~600公斤/米³。净浆和加气混凝土所选用的配比为:石灰15%,水泥15%,粉煤灰67%,石膏3%。蒸压养护制度为183℃,10个大气压,升温4小时,恒温10小时,自然降温。对以上净浆试件及加气混凝土用X—射线衍射及电子显微镜鉴定了水化产物,并用X—射线衍射对水化物进行了半定量的测定。实验用 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 为内标,扫描速度 $\frac{1}{4}^\circ 2\theta$ 。

七种蒸压加气混凝土制品的衍射曲线见图2。从图2可以看出,粉煤灰蒸压加气混凝土除原料衍射峰外,新出现的峰有11.3Å, 2.97Å, 2.85Å, 5.04Å, 3.56Å。其中3.08Å峰是共同的,皆较强,可见制品中皆有CSH(I)存在。衍射图中还有不等强度的11.3Å的峰,说明制品中皆含有不等量的托勃莫来石。5.04Å为水化石榴子石衍射峰。3.56Å为二水石膏在高温下转变为无水石膏的特征峰。从以上衍射曲线可以看出,在我们试验的粉煤灰制品中,水化产物中结晶良好的托勃莫来石峰(11.3Å)较小,这与粉煤灰的活性组分是硅铝玻璃体有关。玻璃体为无定形物质,活性较高,因此SiO₂在溶液中溶解度较大,致使结晶差的水化硅酸钙向托勃莫来石转变较慢。在扫描电镜下观察(见图3),可看到片状及纤维状的水

粉煤灰的岩相分析

表 4

产地 组 分	上海吴泾	哈尔滨	天津	唐山	南宁	武汉	成都	宝鸡	富拉尔基	郑州(363厂)	郑热电厂	北京高井	兰州	安阳(3号)	安阳(7号)	安徽 阳合	上海 浦上 海灰	上海 浦温 海灰	邵武	吉林 灰林	吉林 灰林	西安	太原
玻璃球含量%	50~60	~50	20~30	30~40	10~15	40~50	50~60	~90	55	70~80	30~40	~70		20~30	10	50~60	40~50	30~40	95	70~80	90	~30	~50
玻璃球大小	大小都有	中等	大	较大	大小都有	小	小	大小都有	较大	小的多	大	大小都有		小	小	较大	大的多	大小都有	大都在以下 3微米	大小都有	小的多	大	大小都有
玻璃碎片含量%	40~50	~50	~70	~60	~80	40~50	~40	微	~25	20~30	~70	~20	60~70	60~70	~90	20~40	40~50	60~70	微	20~30	10	35~60	30~35
炭粒%	多	~10	3~5	3~4	3~5	3~4	5~7	3~5	多	3~5	~10	4~5		大块炭多	10	大块炭多	5	5	3~5	3~5	2~3	5~7	多
α -石英 %	7~10	较多	3~6	多	3~5	多	较多	少	多	5~7	~5	3~4		3~5	5~6	5	5	10	10	5~7	10	5~7	8~10
碳酸钙 %	—	微	3	—	少	—	5	—	—	—	少	少		—	1~2	少	少	少	—	少	少	少	微
磷石英 %	微	微	微	3	—	3	1	—	微	微	微	少		微	微	微	微	微	微	微	无	微	微

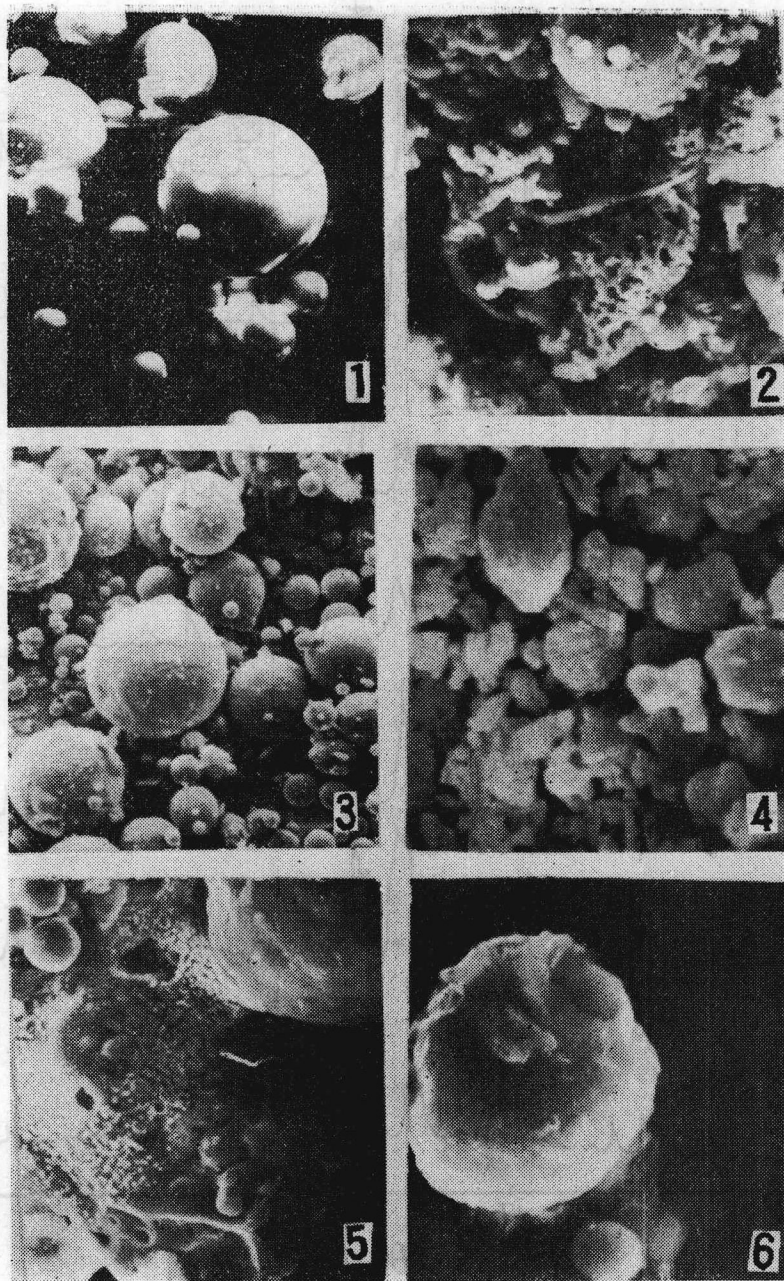


图1 粉煤灰的颗粒外观(扫描电镜照片)

1-北京粉煤灰中玻璃球, 2000×; 2-南宁粉煤灰, 1000×; 3-宝鸡粉煤灰; 4-天津粉煤灰; 5-武汉粉煤灰, 2000×; 6-粉煤灰中玻璃球

化硅酸钙交织生长在粉煤灰颗粒之间, 有的明显地在粉煤灰颗粒上生长出来。还可看到在较密实的粉煤灰颗粒之间有胶状水化硅酸钙(C-S-H)相互连结。水化石榴子石在电镜下以多面体形态出现。扫描电镜情况与X-光衍射结果相符。

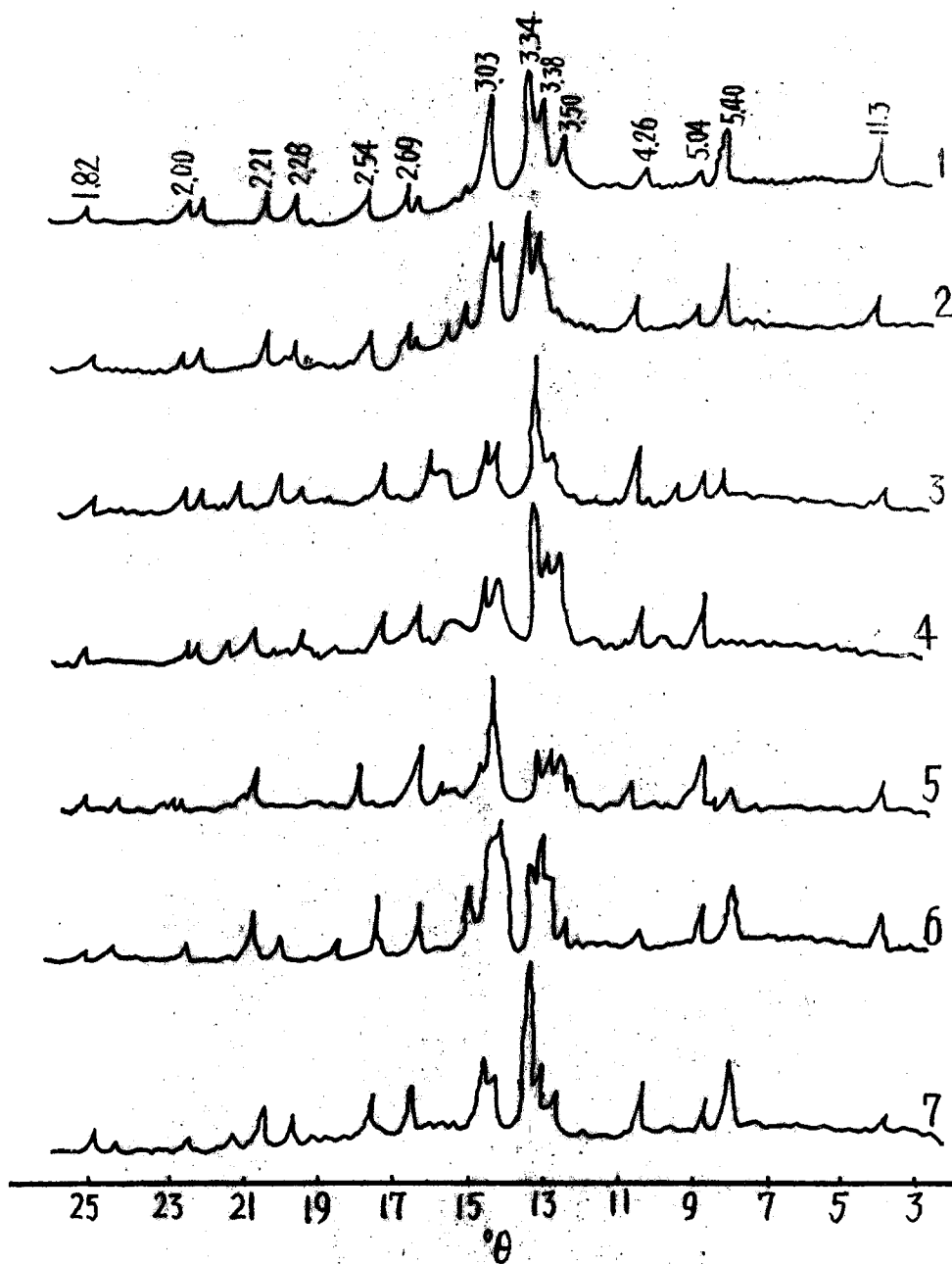


图2 蒸压粉煤灰加气混凝土的衍射曲线

1-上海吴泾; 2-上海杨浦; 3-吉林; 4-邵武; 5-宝鸡; 6-北京; 7-兰州

除上述对水化物定性分析外, 我们还用X—射线衍射峰强度作各水化产物半定量估算。并采用化学分析方法测定可溶硅、可溶铝, 以计算水化产物总量, 然后减去用X—射线衍射峰估算出各半结晶及结晶水化产物含量, 即为胶状C—S—H的含量。所求得各水化产物相对含量见表5。

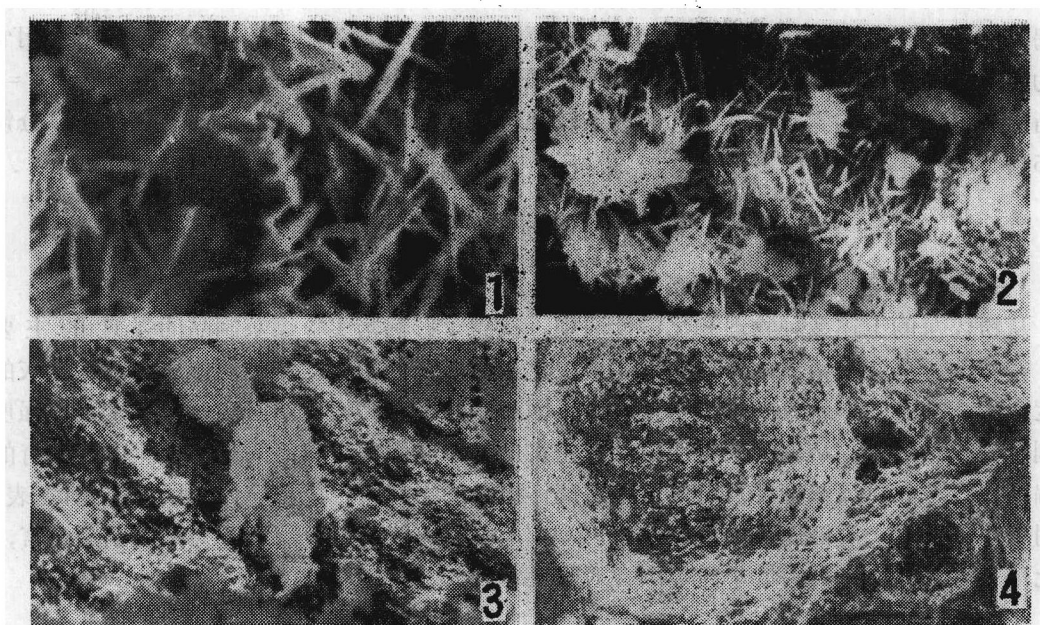


图3 蒸压粉煤灰加气混凝土中水化产物扫描电镜照片

1-片状、纤维状水化硅酸钙；2-纤维状水化硅酸钙；3-水化石榴子石；4-胶状水化硅酸钙

粉煤灰加气混凝土水化产物衍射峰强度及含量

表 5

项目	可溶	可溶	I	I	I	To	CSH(I)	C-S-H	C ₃ ASH ₄	强度	收缩
产地	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	11.3Å	3.08Å	5.04Å	%	%	%	%	公斤/厘米 ²	毫米/米
北京	18.23	4.95	0.545	0.848	0.885	21.0	8.3	9.2	5.5	50.6	0.700
邵武	16.94	5.66	0	0.298	0.120	0	10.3	25.2	7.5	57.5	1.355
上海杨浦	15.44	4.94	0.26	0.70	0.10	14.8	9.2	8.6	6.1	35.0	0.730
宝鸡	14.77	6.90	0.22	0.635	0.24	12.0	9.2	16.81	14.8	15.5	0.322
兰州	16.78	4.95	0.147	0.502	0.13	5.75	4.85	24.2	7.8	66.4	1.172
吉林	15.07	5.52	0.170	0.532	0.115	4.15	14.1	12.7	7.5	35.5	1.151
上海吴泾	18.27	5.16	0.54	1.26	0.108	21.0	9.5	8.0	6.1	44	0.598

注 1.各衍射峰的强度皆以10%α-Al₂O₃的2.08Å衍射峰为标准的相对值。

2.邵武粉煤灰制品To% (托勃莫来石含量)为“0”。实际上不一定为“0”，因为测量仪器灵敏度不够，测不出来，以“0”表示。

3.由于标准样品(水化物相)制备困难，表中含量皆以我们实验室制备的标样为准，故仅能视为相对含量或半定量分析。

由上述实验说明，蒸压粉煤灰制品的水化产物是托勃莫来石，CSH(I)，胶状C-S-H及水化石榴子石。据国外不少关于异形托勃莫来石的报导，所谓异形托勃莫来石是托勃莫来石的一种变种，一般认为含有Al³⁺及碱。特点是异形托勃莫来石加热到300℃其11.3Å面间距并不减少，正常的托勃莫来石则减少到10Å以下。我们将蒸压粉煤灰制品加热到300℃(2小时)，其11.3Å面间距并不减少，说明蒸压粉煤灰制品中托勃莫来石是异形的。

蒸压粉煤灰制品水化产物的种类和量与粉煤灰玻璃体成分有密切关系。粉煤灰玻璃体的SiO₂/Al₂O₃比值小，水化产物中除水化硅酸钙外还有较多的水化石榴子石生成。随SiO₂/

Al_2O_3 比值的增大,水化硅酸钙含量增多,水化石榴子石含量减少,其 $5.04\text{\AA}$ 衍射峰也逐渐减弱,而试件强度也有较大提高。如宝鸡电厂粉煤灰 $SiO_2/Al_2O_3 = 1.95$,比较低,用它配制的蒸压制品生成的水化石榴子石就较多;强度也受到影响。北京粉煤灰 $SiO_2/Al_2O_3 = 4.7$ 在衍射图上明显的看到水化硅酸钙的线条较强较多,而水化石榴子石的线条仅仅可以分辨出来($5.04\text{\AA}$ 峰),含量减少多了。

四、影响制品强度的主要因素

(一)净浆强度的主要影响因素

从粉煤灰的上述多种物理和化学性质中,找到了影响密实粉煤灰制品的强度的主要因素。密实的粉煤灰净浆试件,其强度主要决定于粉煤灰的密实度和玻璃体成分,粉煤灰的密实度愈大、其孔隙率就愈小,需水量就少,因而制品密实强度高。密实度与净浆试件强度结果列于表6和图4。从其结果看出粉煤灰密实度与净浆强度有较好的相关性。但其中有的结果偏离曲线,如粉煤灰细度及粉煤灰中玻璃体组分的影响。合成玻璃体的试验结果(见表7)说明了这一点。一般粉煤灰中玻璃体中 SiO_2/Al_2O_3 比值为 $2.5\sim 4.5$,对蒸压制品而言,高于此范围者对强度有利,低于此范围者对强度不利。

粉煤灰密实度与净浆试件抗压强度 表 6

粉煤灰产地	邵武	吉林 (粗灰)	宝鸡	吉林 (细灰)	郑州 (363厂)	上海 (吴泾)	兰州 (干灰)	北京	武汉	富拉尔基	唐山	成都	西安
抗压强度 (公斤/厘米 ²)	405	365	350	340	335	332	317	315	314	310	300	285	265
密实度P	0.305	0.467	0.509	0.422	0.416	0.390	0.332	0.359	0.341	0.360	0.360	0.342	0.329
备 注	极细		S/A低				C-S-H 含量高		S/A高				

粉煤灰产地	南宁	郑州 (热电厂)	上海(杨浦湿灰)	太原	天津	兰州 (湿灰)	安阳 (7号)	哈尔滨	上海(杨浦干灰)	安阳 混合	安阳 3号	吉林 (细灰)
抗压强度 (公斤/厘米 ²)	258	255	244	238	237	232	225	218	208	150	98	340
密实度P	0.306	0.424	0.380	0.306	0.382	0.341	0.372	0.307	0.357	0.288	0.239	0.422
备 注		粗	S/A低		灰中渣多 P值偏高	与重灰相比,烧失量较大细度较粗	S/A低		S/A低			

因此,在选择粉煤灰作密实制品时可以以其密实度高低作为优劣的一个指标、并参考其玻璃体中 SiO_2/Al_2O_3 的比值。

粉煤灰细度和含碳量对制品强度有很大的影响,细度除用4900孔筛余控制在15%外,用2000孔筛余控制小于70%即可满足要求。含碳量小于15%的粉煤灰对制品强度影响不大。

通过电镜观察,粉煤灰的性质与粉煤灰颗粒形状有密切关系。质量良好的粉煤灰,皆含

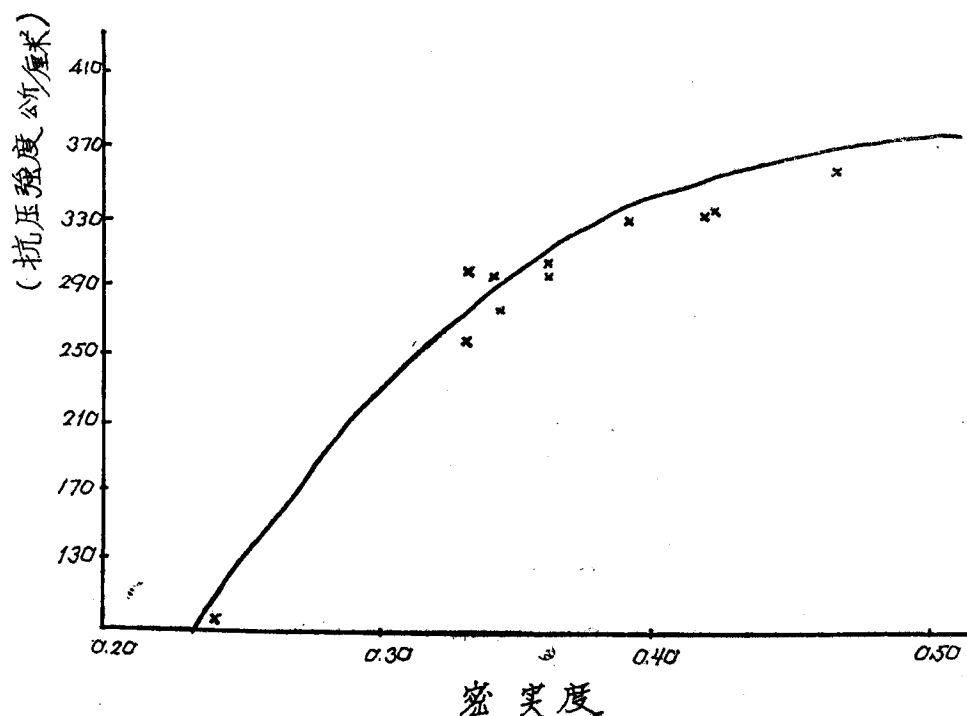


图4 粉煤灰密实度与抗压强度的关系

合成玻璃体成分与抗压强度关系

表 7

编号	成分	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	抗压强度(公斤/厘米 ²)
1		45	45	1	110.4
2		60	30	2	225.8
3		67.5	22.5	3	305.7
4		75	15	5	377.3
5		78.75	11.25	7	405.6
6		81	9	9	486.3

注：配比：15%水泥，15%石灰，67%玻璃体，石膏3%；
水料比：0.45；
蒸压制度：升温2小时，恒温8小时（10大气压，183℃）

有大量的表面光滑的玻璃球。玻璃球含量多，疏松多孔的颗粒少时，粉煤灰的密实度大。表面光滑的玻璃球可起到“滚珠效应”，使粉煤灰制品的和易性好，需水量低。

（二）加气混凝土强度的主要影响因素

1. 容重与强度的关系

加气混凝土的容重是通过加入大量水及不同量的铝粉产生不同的孔隙率而形成的。容重对强度的影响，实质上是孔隙率对强度的影响。孔隙率是影响制品强度的重大因素。不同品种的粉煤灰制作的同容重加气混凝土会因组成制品材料的比重不同，其孔隙率也不相同，对制品强度的影响也不同。根据许多其它研究者对混凝土孔隙率的研究，孔隙率与强度的关系

用以下关系式表示:

$$R = R_0 (1 - V_p)^b \quad (1)$$

其中 R —— 制品的强度;

V_p —— 制品的孔隙率;

R_0 —— 无孔隙时制品的强度;

b —— 常数。

$$\text{又 } V_p = 1 - \frac{\gamma_v}{\gamma} \quad (2)$$

式中 γ_v —— 制品的容重;

γ —— 制品材料的比重。

②式代入①式得:

$$R = R_0 \left[1 - \left(1 - \frac{\gamma_v}{\gamma} \right) \right]^b = R_0 \left(\frac{\gamma_v}{\gamma} \right)^b$$

$$\therefore R = \frac{R_0}{\gamma^b} \gamma_v^b \quad (3)$$

公式③为一指数方程, 两边取对数画座标图, 应为一一直线, 斜率为 b (见图 5)。用我们实验数据代入上式求得 $b = 1.9$ 左右。

有关资料介绍加气混凝土强度与容重的平方成正比, 考虑到实验误差及计算方便取 $b = 2$ 。 b 值在不同的条件 (原料品种及制造工艺) 下是不同的。但在同一类原材料与同一制作工艺条件下应该是相同的。当条件改变时, b 值应由实验确定。

我们用以下 7 种粉煤灰加气混凝土的容重和强度代入③式, 即可求得各种粉煤灰加气混凝土的 R_0 值。 R_0 是混凝土无孔隙时的强度 (理论值), 排除了容重和比重 (即孔隙率) 的影响, 反映了材料本身的性质, 应与材料中所含的水化物种类的数量有密切的关系 (见表 8)。

2. 水化产物与强度的关系

各种水化产物的胶凝性 (即强度) 是不同的, 根据资料介绍, 胶状水化硅酸钙 $C-S-H$ 与纤维状水化硅酸钙 $CSH(I)$ 皆具有较高的强度, 如容重都控制在 1100 公斤/米^3 时, $CSH(I)$ 强度可达 230 公斤/厘米^2 , 而结晶程度高的托勃莫来石 ($C_4S_5H_5$) 强度仅 70 公斤/厘米^2 , 水化石榴子石没有什么强度。因此以 $W = C-S-H + CSH(I) + \frac{1}{3}C_4S_5H_5(\%)$, 代表水化产物对强度的贡献, R_0 与 W 应有密切的关系, 见表 8 和图 6。

由以上实验及公式③可见, 高强度的蒸压粉煤灰加气混凝土应该具有较高的 $\frac{R_0}{\gamma^b}$ 值, 也即要求制品在无孔隙时的强度 R_0 大, 及制品材料的比重 (γ) 小。要提高 R_0 必须要求粉煤灰玻

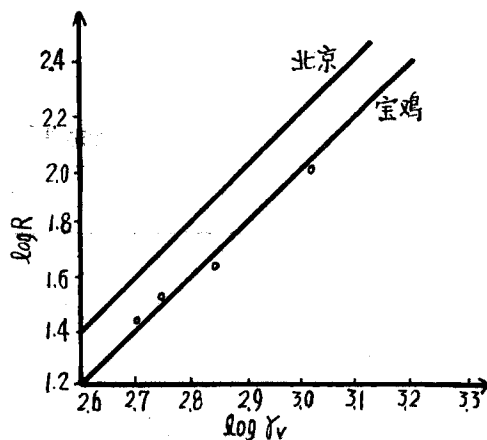


图 5 R 与 γ_v 的对数值关系

蒸压粉煤灰加气混凝土 R_o 与水化物含量关系

表 8

粉煤灰 项目	邵 武	兰 州 (干灰)	上 海 (吴泾)	上 海 (杨浦)	北 京	吉 林	宝 鸡 (1号)
R 公斤/厘米 ²	57.5	66.4	44.0	35.0	50.6	35.5	15.5
容重 γ_v 公斤/升	0.585	0.604	0.569	0.522	0.598	0.562	0.485
比重 γ 公斤/升	2.36	2.44	2.37	2.50	2.22	2.34	2.64
R_o 公斤/厘米 ²	930	1040	780	720	690	650	530
W% CSH(I) + C-S-H + 1/3C ₄ S ₃ H ₅	35.5	30.85	24.2	24.20	24.5	22.45	20

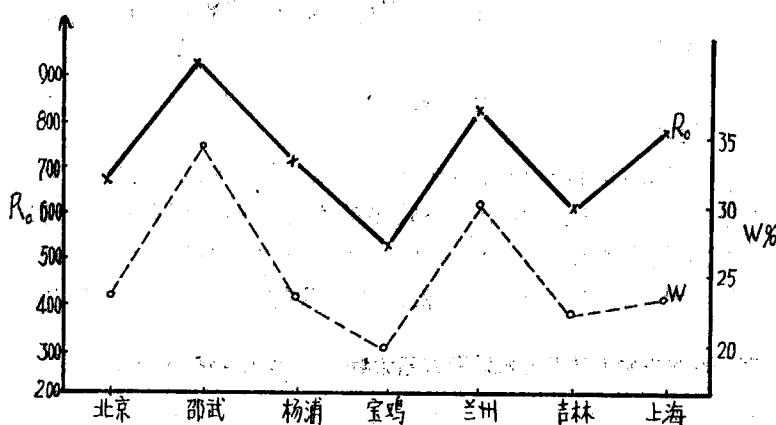


图 6 蒸压粉煤灰加气混凝土 R_o 与 W 关系

璃体组成中 SiO_2/Al_2O_3 高, 才能生成多量的水化硅酸钙, 少量的水化石榴子石。制品材料的比重与原材料的比重(关键是粉煤灰的比重)有密切关系, 原材料的比重小, 制品材料的比重就小。因此生产加气混凝土制品宜选用比重小的粉煤灰, 以空心玻璃球含量多的粉煤灰为好。

当粉煤灰的细度较大时, 可以生成大量的 C—S—H 和 CSH(I), W 值就高, 制品强度也高。例如邵武电厂的电收尘粉煤灰, 细度大, 2000 孔筛余接近零, 其配制的加气混凝土强度就较高。

五、加气混凝土的收缩与水化产物的关系

根据国内外资料报导, 胶状水化硅酸钙 C—S—H 的含量与制品的收缩有密切的关系。我们将 7 种蒸压粉煤灰加气混凝土的收缩值与 C—S—H 含量作图, 见图 7,

由图 7 可见加气混凝土的收缩值确实与加气混凝土中 C—S—H 含量有密切的关系。托勃莫来石含量反映了胶状或结晶差的水化硅酸钙向结晶程度高的水化硅酸钙转变的程度。因此托勃莫来石的含量必然与收缩值有密切的关系。表 9 即是我们所测定的各种粉煤灰加气混凝土的托勃莫来石含量 (T. %) 与收缩值 (S 毫米/米) 的关系。此外我们还收集了一些其它地区的加气混凝土样品, 测定了托勃莫来石含量与收缩值, 同时还测定了国外加气混凝土中托勃莫来石含量 (见表 10)。